



## PERKUATAN LENTUR BALOK TAMPANG PERSEGI DENGAN PENAMBAHAN TULANGAN TEKAN DAN KOMPOSIT MORTAR

Fatmawati Amir \*

### Abstract

*Objectives of this research is to study the effectiveness of the addition of longitudinal compression reinforcement with jacketing mortar as the composite girder cultivation. In this research a series of reinforced concrete beams were tested. The beams consist of four specimens : control beam (BK), monolith beam (BM), strengthened beam without epoxy bonding agent (BP-1) and strengthened beam with epoxy bonding agent (BP-2). The beam have rectangular cross-section of 150 mm x 250 mm for control beam (BK). Monolith beam (BM) and strengthened reinforced concrete beam (BP) measured 2500 mm in length with web thickness 150 mm, flens thickness 80 mm, wide 190 mm and depth 210 mm.*

*The result show that monolith and strengthened beams have performed better in the ultimate load for BM specimen were 34,30%, BP-1 specimen were 25,04% and BP-2 specimen were 26,13% compared BK specimen. Stiffness of beam improvement based on experiment for BM specimen were 31,06%, BP-1 specimen were 381,51% and BP-2 specimen were 44,49% compared BK specimen. Ductility of beam at experiment for BM specimen decrease were 12,89%, BP-1 specimen decrease were 29,30%, and BP-2 specimen decrease were 20,31% compared BK specimen. Failure patterns of the control beam (BK) was brittle behaviour and monolith beam (BM) were flexural while the strengthened beams had delamination.*

**Key words :** Reinforced concrete beam, , beam strengthening, mortar

### Abstrak

*Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas penambahan tulangan longitudinal tekan dengan komposit mortar sebagai perkuatan balok. Benda uji berupa balok tampang persegi dengan ukuran 150 mm x 250 mm dengan panjang 2500 mm untuk balok kontrol (BK), sedangkan balok monolit dan balok perkuatan dengan ukuran lebar web 150 mm, tebal flens 80 mm, tinggi 290 mm dan panjang 2500 mm.*

*Hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa perkuatan balok beton menunjukkan peningkatan kekuatan lentur untuk BM, BP-1, dan BP-2 secara berturut-turut terhadap BK adalah sebesar 34,30%, 25,04%, dan 26,13%. Kenaikan kekakuan lentur balok berturut-turut 31,40%, 381,51%, dan 44,49% terhadap BK. Daktilitas benda uji hasil eksperimen untuk BM, BP-1 dan BP-2 mengalami peningkatan secara berturut-turut sebesar 12,89%; 29,30% dan 20,31% terhadap BK. Pola keruntuhan yang terjadi pada balok kontrol (BK) adalah keruntuhan yang bersifat getas dan balok monolit (BM) mengalami keruntuhan lentur, sedangkan semua benda uji balok perkuatan mengalami delaminasi.*

**Kata Kunci :** Balok beton bertulang, perkuatan balok, mortar

### 1. Pendahuluan

Aplikasi struktur beton bertulang dalam konstruksi sipil sudah sangat luas dan berkembang dengan pesat. Beton bertulang banyak digunakan dalam berbagai konstruksi sipil karena karakteristik kekuatannya yang mampu

menahan gaya tarik dan tekan sekaligus, serta ketahanannya terhadap faktor lingkungan. Dalam perkembangannya, didasarkan pada tujuan peningkatan kemampuan komponen struktural, sering dijumpai beton dan tulangan baja bersama-

\* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

sama ditempatkan pada bagian struktur di mana keduanya menahan gaya tekan. Kondisi ini dapat ditemui bila penulangan yang diberikan kepada struktur adalah penulangan yang berlebih (*overreinforced*), dimana luas tulangan tarik yang diberikan melebihi kondisi seimbang yang mampu ditahan oleh luas blok tekan beton atau ditempatkan pada daerah dimana momen negatif akan terjadi berdasarkan analisa struktur.

Konstruksi bangunan sipil biasa dirancang dengan umur layan tertentu, namun sering terjadi sebelum umur layan tersebut tercapai bangunan beton bertulang sudah mengalami penurunan kekuatan struktur. Hal ini dapat disebabkan oleh perubahan fungsi bangunan, pemberian beban yang berlebihan, kesalahan dalam desain atau kesalahan dalam pelaksanaan konstruksi, ataupun akibat gempa dan kebakaran. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis ulang terhadap kapasitas tampang dari elemen-elemen struktur bangunan, salah satunya adalah elemen balok. Apabila hasil analisis tampang tersebut tidak mampu menahan beban yang ada, maka salah satu cara penyelesaiannya tanpa membongkar bangunan tersebut adalah dengan melakukan perkuatan terhadap elemen struktur bangunan tersebut.

Pada penelitian ini dilakukan perkuatan balok beton bertulang tampang persegi dengan penambahan tulangan tekan dengan selimut beton berupa komposit mortar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas penambahan tulangan longitudinal tekan dengan komposit mortar sebagai perkuatan balok.

## 2. Tinjauan Pustaka

Perkuatan struktur atau elemen-elemen struktur diperlukan apabila

terjadi kerusakan yang menyebabkan degradasi yang berakibat tidak terpenuhi lagi persyaratan-persyaratan yang bersifat teknik yaitu: kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), stabilitas (*stability*), daktilitas (*ductility*) dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan (*durability*). Tidak terpenuhinya persyaratan-persyaratan dapat pula disebabkan perubahan *code* dengan persyaratan yang lebih ketat, sehingga diperlukan tindakan perkuatan (Triwiyono, 2004). *Strengthening* atau perkuatan dilaksanakan untuk meningkatkan kekuatan maupun daktilitas struktur. Pekerjaan *strengthening* harus direncanakan dahulu sesuai dengan yang diinginkan dan harus memenuhi persyaratan teknis yang berlaku.

Sebelum dilakukan tindakan perkuatan, perlu diketahui jenis, penyebab dan tingkat kerusakan. Secara umum perkuatan dilakukan karena beberapa hal, antara lain : (a) Kesalahan perencanaan, (b). Kesalahan pelaksanaan, (c). Perubahan fungsi yang mengakibatkan penambahan beban, (d). Perkembangan ilmu pengetahuan, (e). Timbulnya keluhan terhadap kenyamanan struktur, dan (f). Perubahan persyaratan untuk memenuhi peraturan baru. Pemilihan metode perkuatan harus memperhatikan beberapa hal yaitu kapasitas struktur yang akan diperkuat, lingkungan dimana struktur berada, peralatan yang tersedia, kemampuan tenaga pelaksana serta batasan-batasan dari pemilik seperti keterbatasan ruang kerja, kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan biaya perkuatan. Untuk meningkatkan kemampuan tarik baja tulangan dalam menerima momen lentur, diberi tambahan pelat baja atau tambahan tulangan tarik yang dilaskan pada tulangan yang ada dengan jarak tulangan antara, dan untuk

meningkatkan kemampuan tekan beton bisa dilaksanakan serupa dengan pekerjaan *jacketing* maupun *concreting*. Sedangkan untuk meningkatkan kemampuan beton bertulang adalah dengan penambahan tulangan tarik maupun tulangan tekan dan dipadukan dengan pekerjaan *jacketing* dan *concreting*.

Jumaat, M.Z dan Alam, M.A (2006) meneliti pengaruh perkuatan menggunakan *ferrocement* dan *wire mesh* terhadap kekuatan lentur balok. Penggunaan perkuatan tersebut mampu menunda terjadinya retak, dan meningkatkan kapasitas lentur balok. Namun sebelum kegagalan penampang terjadi, balok perkuatan telah mengalami delaminasi, yang mengakibatkan penurunan kemampuan balok dalam menerima beban lentur. Penelitian dilakukan dengan membuat 9 buah benda uji balok beton bertulang dengan panjang 2200 mm dan tampang ukuran 150x250 mm. Diameter tulangan yang dipergunakan adalah 2Ø10 untuk tulangan tarik maupun tekan. Sengkang yang dipergunakan adalah diameter 6 dengan spasi 150 mm pusat ke pusat. Untuk *ferrocement* laminasi dipergunakan jaringan kawat bujur sangkar dengan diameter 1 mm dan jarak 12,5 mm. Ketebalan *ferrocement* laminasi adalah 25 mm. Benda uji dibagi kedalam 4 bagian yaitu A,B,C, dan D. Tipe A merupakan balok kontrol tanpa perkuatan, tipe B terdiri dari 3 buah benda uji yang menggunakan baut sebagai *shear connectors*, tipe C terdiri dari 3 buah benda uji yang menggunakan *dowel* berbentuk L sebagai *shear connectrors* dan epoxy sebagai perekat antara balok dan *ferrocement* laminasi, dan tipe D terdiri dari 2 buah benda uji yang menggunakan *dowel* sebagai *shear connectors* dengan volume tulangan lebih kecil dibanding tipe A, B dan C.

Hasil penelitian menyimpulkan bahwa balok dengan perkuatan menggunakan laminasi *ferrocement* pada daerah tarik akan menunda terjadinya retak pertama, menambah kekakuan dan kapasitas menahan beban. Defleksi di tengah bentang dan peningkatan kapasitas beban pada balok perkuatan akan kecil dimana aksi komposit akan hilang antara balok asli dengan *ferrocement* sebelum mencapai keruntuhan. Dengan adanya *shear connector* akan memberikan aksi komposit penuh antara balok asli dengan *ferrocement*.

Zhang, dkk (2006) meneliti perilaku balok beton bertulang pada beban awal dengan perkuatan menggunakan CFRP Laminasi. Benda Uji terdiri dari 2 tipe A dan B dengan ukuran benda uji adalah 150 x 250 mm dengan panjang 2500 mm. Benda uji tipe A dengan rasio penulangan 0,84 % ( 2 diameter 12 mm) dan tipe B dengan rasio penulangan 1,52% ( 2 diameter 16 mm). Penggunaan CFRP laminasi bervariasi satu lapis dan dua lapis untuk benda uji tipe A dan B. Semua balok didesain untuk keruntuhan lentur, hasil penelitian menyebutkan bahwa kekuatan lentur untuk balok perkuatan meningkat, tetapi peningkatan ini tidak linier dan akan terjadi pelepasan selimut beton dan beton hancur. Kekakuan balok perkuatan mengalami peningkatan dibandingkan dengan balok tanpa perkuatan, sehingga dapat dikatakan CFRP Laminasi dapat meningkatkan kekakuan dan mengurangi lendutan yang terjadi.

Hendarti (2004), meneliti perkuatan lentur balok tampang T dengan penambahan tulangan longitudinal tanpa pengait ke baloknya dengan perekat *epoxy-resin*. Benda uji terdiri dari tiga variasi penambahan tulangan dan satu sebagai balok kontrol (BK). BP1 (ditambah 1 tulangan), BP2 (ditambah 2 tulangan) dan BP3

(ditambah 3 tulangan). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan lentur yang dapat didukung balok meningkat tajam, yaitu sebesar 109,87%, 152,23% dan 176,74% secara berturut-turut untuk BP1, BP2 dan BP3 terhadap BK. Kekakuan meningkat sebesar 13,6%, 17,63% dan 55,86% untuk BP1, BP2 dan BP3 terhadap BK. Jenis kerusakan untuk benda uji BK dan BP1 adalah kerusakan lentur, sedangkan untuk benda uji BP2 dan BP3 mengalami rusak pada beton (delaminasi). Penurunan daktilitas untuk BP1 terhadap BK sebesar 41,1%, sedangkan BP2 dan BP3 daktilitas tidak dapat diketahui karena terjadi delaminasi sebelum tulangan tambahan leleh.

Iswari (2004), melakukan penelitian tentang perkuatan lentur balok tampang persegi dengan penambahan tulangan longitudinal menggunakan perekat *epoxy-resin*. Tiga macam variasi perkuatan dilakukan yaitu dua balok dengan penambahan tulangan dan satu sebagai balok kontrol (BK). BP-B1 (perkuatan dengan 1 tulangan tarik), BP-A1B2 (perkuatan dengan 1 tulangan tekan dan 2 tulangan tarik) dan BP-A2B3 (perkuatan dengan 2 tulangan tekan dan 3 tulangan tarik). Penelitian ini memberikan hasil bahwa kekuatan lentur yang dapat didukung balok meningkat secara signifikan sebesar 63,04%, 139,95% dan 124,14% secara berturut-turut untuk BP-B1, BP-A1B2 dan BP-A2B3 bila dibandingkan dengan BK. Besarnya nilai kekakuan meningkat sebesar 20,22%, 55,19% dan 114,61% untuk BP-B1, BP-A1B2 dan BP-A2B3 terhadap BK. Kerusakan yang terjadi pada ketiga benda uji adalah untuk benda uji BK dan kerusakan terjadi pada daerah ujung tulangan perkuatan dan BP-A2B3 mengalami rusak pada beton (*delaminasi*). Daktilitas mengalami penurunan sebesar 37,59%,

65,68%, 81,66% untuk BP-B1, BP-A1B2 dan BP-A2B3 bila dibandingkan dengan BK.

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Bahan penelitian

Bahan dan material yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton *ready mix* dengan  $f_c' = 28,514$  MPa dan nilai slump  $10 \pm 2$ , agregat halus (pasir merapi), air, baja tulangan (D13, P8 dan P6), *viscocrete-10*, *epoxyresin bonding agent* Sikadur 732.

#### 3.2 Peralatan penelitian

Alat-alat inti untuk penelitian antara lain:

- Loading Frame*, digunakan sebagai perletakan balok untuk uji lentur balok.
- Hydroulic Jack*, digunakan sebagai pemberi beban pada benda uji balok.
- Load cell*, digunakan sebagai penerus beban yang diberikan oleh Hydroulic Jack.
- LVDT*, untuk mengukur besarnya lendutan pada benda uji balok.
- Data logger*, untuk membaca nilai pembebanan, lendutan dan regangan yang terjadi pada benda uji.

#### 3.3 Pelaksanaan penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- Pembuatan *mix design* beton normal.

Pembuatan *mix design* beton normal dilakukan dengan menggunakan jasa *ready mix* dengan kuat tekan rencana ( $f_c'$ ) 25 MPa dengan mengacu pada standar *American Concrete Institute* (ACI). Nilai slump yang diperoleh  $10 \pm 2$  cm dan dari hasil pengujian kuat tekan beton,

*Perkuatan Lentur Balok Tampang Persegi dengan Penambahan Tulangan Tekan dan Komposit Mortar  
(Fatmawati Amir)*

diperoleh kuat tekan beton normal adalah 28,514 MPa.

- Benda Uji balok  
Benda uji balok terdiri dari 4 buah yaitu, 1 balok kontrol (BK), 1 balok

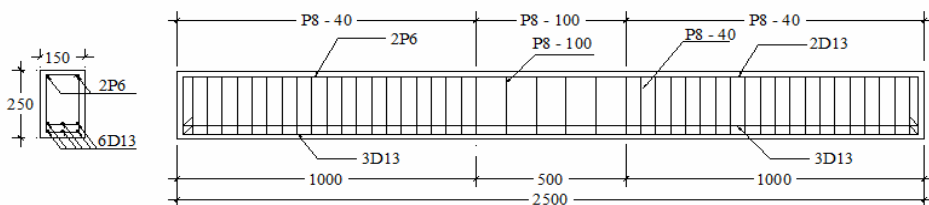
yang dicor monolit (BM), 2 balok kontrol yang telah diperkuat (BP), sebagaimana terlihat pada gambar 2 – gambar 4.



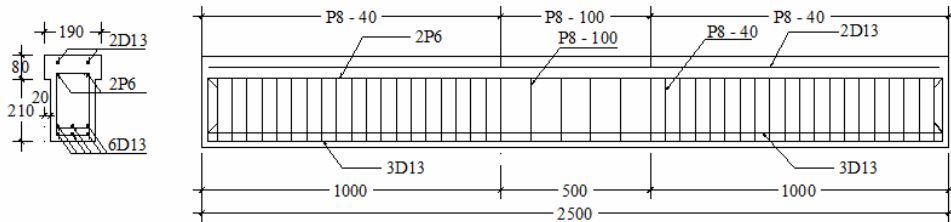
Gambar 1. Pengecoran benda uji

Tabel 1. Spesifikasi benda uji pendahuluan

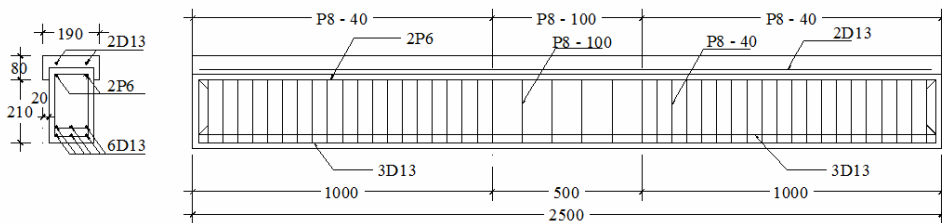
Jenis Pengujian	Jumlah Benda Uji	Ukuran
Kuat Tekan Beton	3 buah	Silinder (150 mm x 300 mm)
Kuat Tekan Mortar	3 buah	Kubus (50 mm x 50 mm x 50 mm)
<i>Pull-out</i> baja-beton	3 buah untuk masing-masing diameter tulangan yaitu diameter 6 mm dan 13 mm	Silinder (150mmx300mm) dengan panjang penanaman 150 mm
<i>Pull-out</i> baja-mortar	3 buah tulangan diameter 13 mm	Kubus (150mmx150mmx150mm) dengan panjang penanaman 75 mm
Kuat Tarik Tulangan	3 buah untuk masing-masing diameter tulangan yaitu diameter 6 mm dan 13 mm	Panjang 500 mm



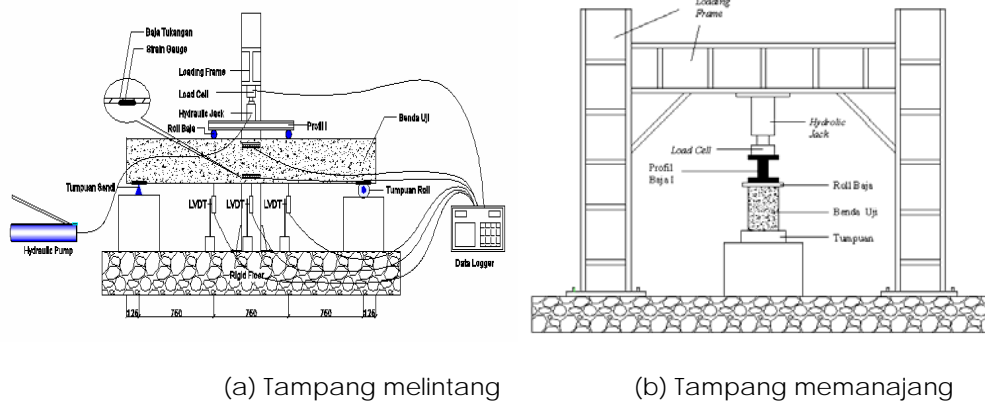
Gambar 2. Penampang memanjang dan melintang balok kontrol (BK)



Gambar 3. Penampang memanjang dan melintang balok monolit (BM)



Gambar 4. Penampang memanjang dan melintang balok perkuatan (BP)



Gambar 5. Set-up pengujian

#### b. Pengujian benda uji balok

Pengujian benda uji balok dilakukan setelah beton berumur 28 hari untuk balok kontrol (BK) dan balok monolit (BM) sedangkan untuk balok perkuatan (BP) dilakukan setelah mortar berumur 28 hari. Benda uji ditempatkan

pada *loading frame* dengan tumpuan sendi dan rol pada kedua ujungnya. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan beban dua titik di sepertiga bentang yaitu sebesar 750 mm. Pemberian beban dilakukan dengan memompakan *hydraulic pump*

yang diteruskan oleh *hydraulic jack* dan beban yang diberikan dapat dibaca oleh *load cell* dan terekam oleh *data logger*. Lendutan vertikal diukur dengan menggunakan *LVDT* yang dipasang 3 buah. Besarnya regangan baja terukur melalui *strain gauge* yang terpasang di tengah tulangan baja dan terekam pada *data logger*. *Set-up* alat dan pembebanan dari benda uji balok dapat dilihat pada gambar 5.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Hasil pengujian

Hasil pengujian lentur berupa beban, lendutan dan lebar retak dari

benda uji ditunjukkan pada Tabel 2. dan gambar 6.

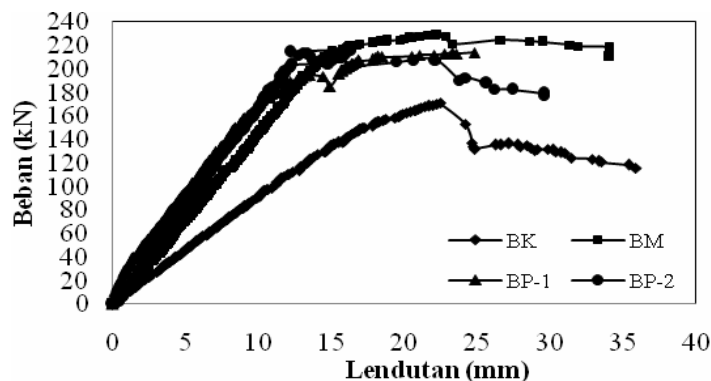
##### 4.2 Perbandingan beban hasil teoritis dan pengujian

Secara keseluruhan beban hasil eksperimen yang diperoleh tidak berbeda jauh dengan beban hasil analisis secara teoritis dengan hasil metode SNI untuk BK dan BM, sedangkan untuk benda uji BP terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Besarnya perbedaan nilai tersebut secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil pengujian lentur balok uji

No	Benda Uji	Kapasitas Beban (kN)		Lendutan yang terjadi (mm)		Lebar Retak (mm)		Peningkatan $P_{maks}$ (%)
		Retak 1	Maks	Retak 1	Maks	Retak 1	Maks	
1	BK	22,8	171,1	2,51	35,86	0,02	1,80	0
2	BM	15,0	229,8	1,26	34,09	0,02	1,40	34,30
3	BP-1	15,6	213,9*	0,36	31,17*	0,02	0,40	25,02
4	BP-2	14,7	215,8*	1,12	29,56*	0,06	0,32	26,13

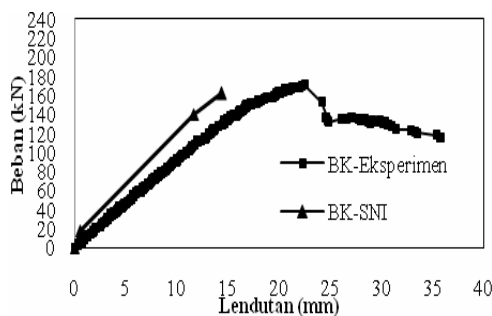
Keterangan : \* = Maksimum saat terjadi kerusakan delaminasi



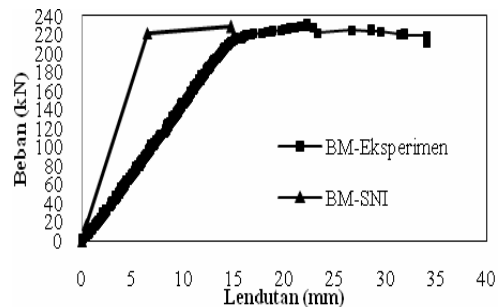
Gambar 6. Hubungan beban dan lendutan benda uji hasil eksperimen

Tabel 3. Perbandingan beban hasil eksperimen dan teoritis

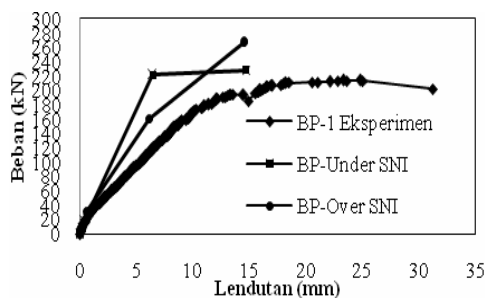
No.	Benda Uji	P (Metode SNI) (kN)	P <sub>maks</sub> (Pengujian) (kN)	P <sub>maks</sub> /P <sub>SNI</sub> (%)
1	BK	162,01	171,1	105,61
2	BM	228,27	229,8	100,67
3	BP-1	228,27	213,9	93,71
4	BP-2	266,49	215,8	80,98



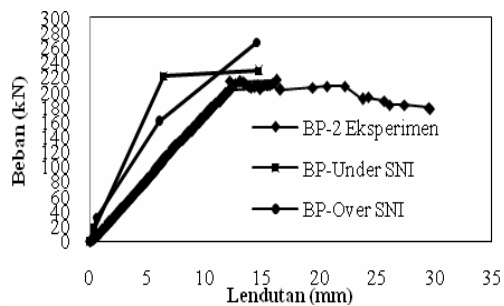
(a) BK



(b) BM



(c) BP-1



(d) BP-2

Gambar 7. Perbandingan hubungan beban-lendutan rata-rata benda uji

#### 4.3 Kekakuan Benda Uji

Kekakuan menurut Timoshenko (1987) dalam Winurseto (2008), didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu

lendutan sebesar satu satuan. Kekakuan balok benda uji diperoleh berdasarkan hasil grafik hubungan beban-lendutan pada saat eksperimen. Nilai kekakuan



balok uji dapat dilihat pada tabel 4 dan Tabel 5.

#### 4.4 Regangan tulangan

Perbandingan regangan benda uji hasil eksperimen dan hasil teoritis dapat dilihat pada gambar 8.

Berdasarkan gambar 8 menunjukkan untuk semua benda uji awalnya masing-masing tulangan menerima beban yang proporsional terutama untuk benda uji BM. Pada pembebanan di atas 70 kN masing-masing tulangan untuk benda uji BK, BP-1 dan BP-2 tidak lagi menerima beban secara proporsional, dimana beban lebih banyak dilimpahkan pada tulangan tarik.

#### 4.5 Momen-Kelengkungan (*Momen-curvature*)

Momen kelengkungan (*Moment curvature*) adalah suatu hubungan antara momen dengan besarnya kelengkungan pada suatu balok. Nilai kelengkungan ditentukan oleh regangan yang terjadi pada balok. Dari grafik hubungan momen dan kelengkungan ini, dapat diketahui seberapa besar kemonolitan balok uji dan seberapa baik aksi komposit bekerja antara dua bahan yang berbeda yaitu kekompositan antara beton dan mortar. Kapasitas *moment curvature* dari balok kontrol, balok monolit dan balok perkuatan dapat dilihat pada Tabel 7.

Hubungan momen dan *curvature* dapat terlihat pada gambar 9.

Tabel 4. Nilai kekakuan lentur balok *initial stiffness*

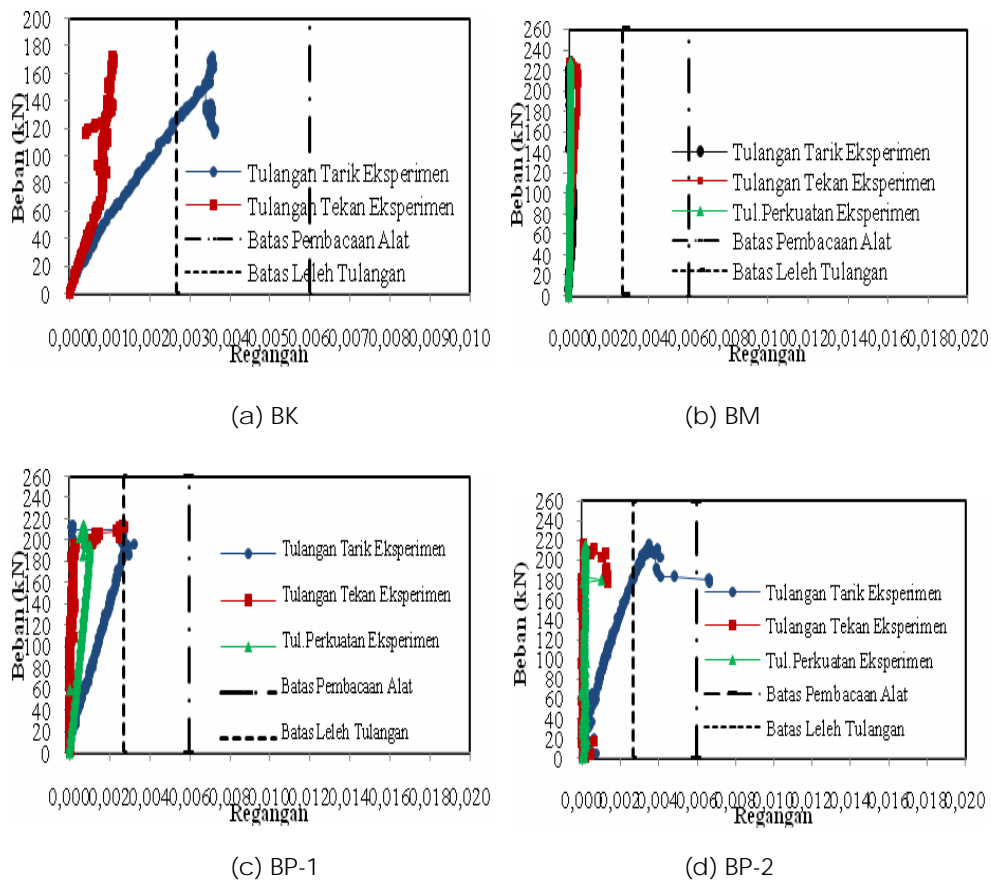
Benda Uji	P crack (N)	Lendutan (mm)	Kekakuan (N/mm)	Persen Peningkatan* (%)
BK	22800	2,51	9083,67	0
BM	15000	1,26	11904,76	31,40
BP-1	15600	0,36	43333,33	381,51
BP-2	14700	1,12	56857,14	44,49

Keterangan : \* Persentasi peningkatan kekakuan dihitung terhadap balok kontrol

Tabel 5. Nilai kekakuan lentur balok dari retak awal hingga kondisi leleh

Benda Uji	P leleh (N)	Lendutan (mm)	Kekakuan (N/mm)	Persen Peningkatan* (%)
BK	128325	14,023	9151,04	0
BM	172350	11,78	14634,87	59,93
BP-1	160425	9,40	17078,60	86,56
BP-2	161850	9,60	16859,38	84,24

Keterangan : \* Persentasi peningkatan kekakuan dihitung terhadap balok kontrol

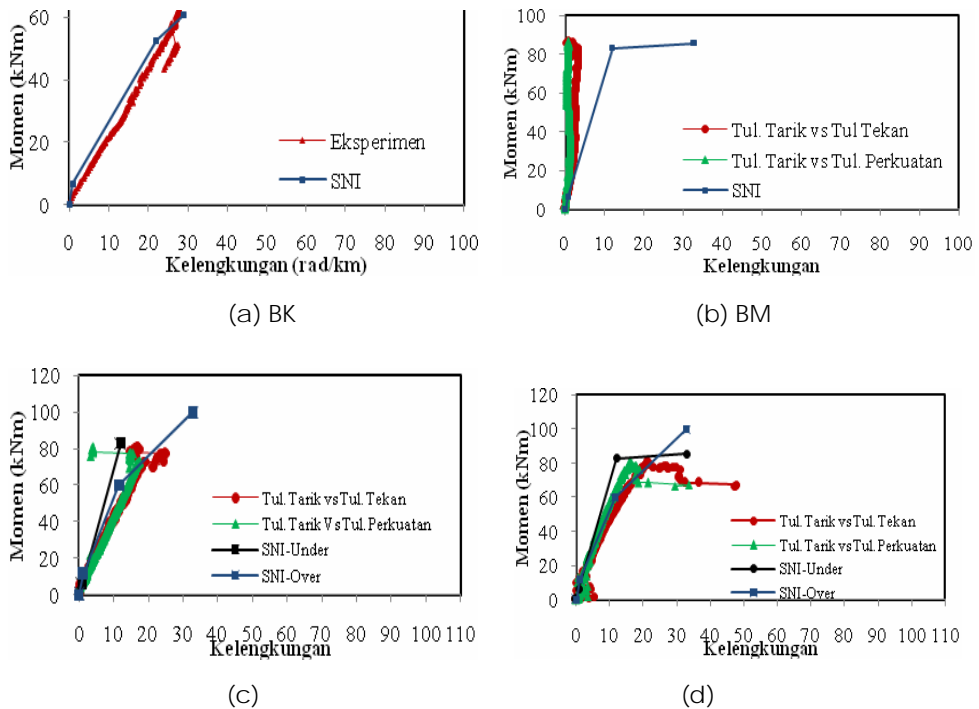


Gambar 8. Perbandingan beban-regangan tulangan benda uji balok

Tabel 7. Kapasitas *moment curvature* hasil eksperimen

No	Benda Uji	Momen Hasil Pengujian (kNm)		<i>curvature</i> (rad/km)	
		Retak 1	Maks	Retak 1	Maks
1	BK	8,55	64,16	3,71	27,79
2	BM	5,63	86,18	0,46	0,84
3	BP-1	5,85	80,21	0,69	16,74
4	BP-2	5,51	80,93	0,26	21,29

*Perkuatan Lentur Balok Tampang Persegi dengan Penambahan Tulangan Tekan dan Komposit Mortar  
(Fatmawati Amir)*



Gambar 9. Perbandingan hubungan momen-kelengkungan benda uji

Dari Gambar 9. terlihat bahwa balok uji BP-1 memiliki kemonolitan antara beton dan mortar yang lebih baik dibandingkan BP-2, dimana dari grafik hubungan momen dan kelengkungan BP-1 kemonolitan dimulai sejak pembebanan awal hingga beban 213,65 kN atau pada besaran momen 80,12 kNm, yang ditunjukkan dari grafik yang masih berimpit antara tulangan tarik dan tulangan perkuatan sedangkan kemonolitan BP-2 hanya sampai pada beban 53,71 kN atau pada besaran momen 20,14 kNm.

#### 4.6 Pola keruntuhan

Pada pengujian BK, keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan yang bersifat getas ditandai dengan

terjadinya *spalling* pada daerah tekan dari benda uji saat beban maksimum, untuk balok BM pola keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan lentur dan terlepasnya permukaan antara beton dengan mortar perkuatan yang dapat disebut dengan kerusakan delaminasi terjadi pada kedua balok uji perkuatan terjadi pada kedua balok uji perkuatan BP-1 dan BP-2. Untuk balok kontrol dan balok monolit terjadi retak yang berupa retak halus ditengah bentang kemudian menyebar ke arah tumpuan dan secara bertahap mengakibatkan keruntuhan. Pada balok perkuatan BP-1 dan BP-2 keruntuhan dimulai dari tengah bentang kemudian menjalar ke daerah tumpuan hingga terjadi kerusakan delaminasi pada daerah perkuatannya saat beban maksimum.



(a) BK



(b) BM



(c) BP-1



(d) BP-2

## 5. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Kapasitas lentur hasil eksperimen untuk benda uji BK, BM, BP-1, BP-2 secara berturut-turut adalah 171,1 kN; 229,8 kN; 213,9 kN dan 215,8 kN. Kenaikan kapasitas lentur balok BM, BP-1, BP-2 secara berurutan terhadap BK adalah 34,3%; 25,04% dan 26,13%.
- b. Kekakuan lentur hasil eksperimen untuk benda uji BK, BM, BP-1, BP-2 secara berturut-turut sebesar 9083,67 N/mm; 11904,76 N/mm; 43333,33 N/mm dan 56857,14 N/mm. Kenaikan kekakuan lentur balok berturut-turut 31,06%; 381,51 %, dan 44,49 %.. Kekakuan setelah retak awal hingga kondisi leleh pada benda uji BK, BM, BP-1, BP-2 secara berturut-turut sebesar 9151,82 N/mm; 14634,87 N/mm; 17078,60 N/mm dan 16859,38 N/mm.
- c. Daktilitas benda uji hasil eksperimen untuk BK, BM, BP-1, BP-2 secara berturut- turut 2,56; 2,50; 3,31; 3,08 dimana daktilitas pada balok BM, BP-1, BP-2 mengalami peningkatan secara berturut- turut sebesar 12,89%; 29,30% dan 20,31% terhadap BK.
- d. Balok kontrol (BK) mengalami keruntuhan yang bersifat getas dan balok monolit (BM) mengalami kerusakan lentur, sedangkan balok perkuatan tanpa epoksi *bonding agent* (BP-1) dan balok perkuatan dengan epoksi *bonding agent* (BP-2) mengalami kerusakan delaminasi.
- e. Perkuatan dengan menggunakan metode ini memiliki kemudahan dalam proses pengecoran selimut mortar, karena mortar dapat mengalir dengan sendirinya tanpa perlu digetarkan, selain itu mortar perkuatan dapat mengisi celah yang sempit antara tulangan yang berjarak cukup rapat.

## **6. Daftar Pustaka**

- ASTM, 2003, *Concrete and Aggregates*, Annual Book of ASTM, Vo1.04.02, Philadelphia.
- Dipohusodo, L., 1994, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Hendarti, L., 2004, *Perkuatan Lentur Balok Tampang T dengan Penambahan Tulangan dan Menggunakan Perekat Epoxy Resin*, Tesis Pasca Sarjana UGM, Jogjakarta.
- Iswari., 2004, *Perkuatan Lentur Balok Tampang Persegi dengan Penambahan Tulangan Menggunakan Perekat Epoxy*, Tesis Pasca Sarjana UGM, Jogjakarta
- Jumaat, M.Z, dan Alam, T., 2006, *Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Beams using Ferrocement Laminate with Skeletal Bars*, Journal of Applied Sciences Research, 2(9) : 559-566, 2006.
- Nawy, Edward G., 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Mendasar* (diterjemahkan oleh Bambang Suryoatmono), Eresco, Bandung.
- Park, R., dan Paulay, T., 1974, *Reinforced Concrete Structure*, Wiley Interscience Publication, New York.
- Timoshenko, Stepen P., dan Gere, James M., 1987, *Mekanika Bahan*, Erlangga, Jakarta.
- Triwiyono, A., 2004, *Evaluasi dan Rehabilitasi Bangunan Gedung*, Program Pascasarjana UGM, Jogjakarta.
- Zhang, Jin Wei Liang, Li Gui Bing., 2006, *Behaviour of preloaded RC beam strengthened with CFRP laminates*, Journal of Zhejiang University SCIENCE A, 2006 7(3) : 436-444